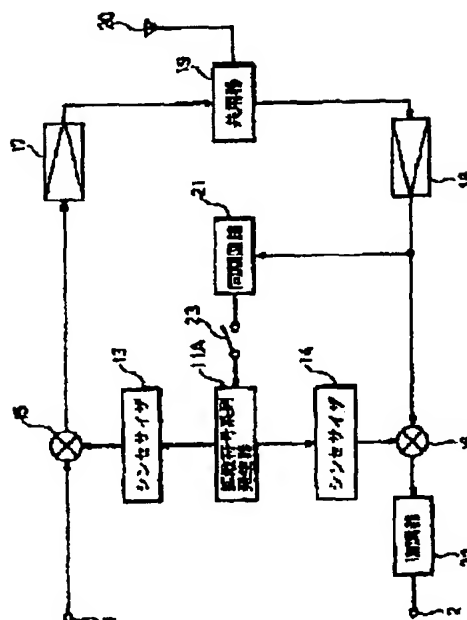


Patent Abstracts of Japan

TITLE : SPREAD SPECTRUM
COMMUNICATION SYSTEM



CONSTITUTION: A diffusion code system generator 11A generating diffusion code systems different by the half value of a diffusion code system length, a frequency synthesizer 13 on a transmission-side receiving one diffusion code system outputted from the diffusion code system generator 11A, a frequency synthesizer 14 on the reception-side receiving the other diffusion code system outputted from the diffusion code system generator 11A and a switch 23 which is changed over to an on-state at the time of reception and which supplies an output clock and a timing signal from a synchronous circuit 21 receiving a reception signal are provided. Transmission/reception frequencies are set to be the same frequency band and they are hopped in parallel detached by a frequency interval which is half a frequency band width.

COPYRIGHT: (C)1992,JPO&Japio

DOCKET NO: LdL-I 0045
SERIAL NO: _____
APPLICANT: Ulrich Bötzel et al.
LERNER AND GREENBERG P.A.
P.O. BOX 2480
HOLLYWOOD, FLORIDA 33022
TEL. (954) 925-1100



Von Jaap Haartsen

Die Bluetooth-Übertragung

Hinter Bluetooth verbirgt sich eine universelle Funkschnittstelle für die drahtlose Kommunikation elektronischer Geräte über Ad-hoc-Nahverkehrsnetze im 2,45-GHz-Frequenzbereich.

Viele tragbare Geräte kommunizieren miteinander über Infrarotverbindungen. Die IR-Transceiver sind zwar relativ preisgünstig, weisen jedoch eine Reihe von Nachteilen auf: Sie sind in der Reichweite stark begrenzt, anfällig bei Hindernissen zwischen Sender und Empfänger und können bisher nur zwei Endgeräte miteinander verbinden.

Das im Februar 1998 gegründete Bluetooth-Konsortium möchte daher einen de-facto-Standard für eine Funkschnittstelle und die zu ihrer Steuerung eingesetzte Software etablieren, um das Zusammenwirken von Geräten unterschiedlicher Hersteller zu gewährleisten. Die ersten Produkte mit Bluetooth-Technik sollen noch in diesem Jahr auf den Markt kommen.

Die Bluetooth-Funkschnittstelle

Bei der Entwicklung der Bluetooth-Funkschnittstelle muß man bestimmte Anforderungen berücksichtigen:

Das System soll weltweit einsetzbar sein.

Die Verbindung muß sowohl Sprach- als auch Datenübertragung unterstützen, damit sich beispielsweise Multimedia-Anwendungen realisieren lassen.

- Der Funk-Transceiver muß kompakt sein und mit möglichst geringer Leistung arbeiten, das heißt für den Einbau in kleine tragbare Geräte wie Mobiltelefone, Freisprecheinrichtungen und Personal Digital Assistants (PDA) geeignet sein.

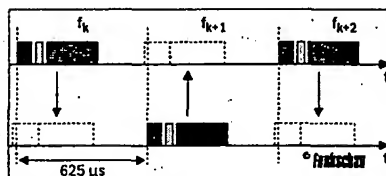
Lizenzfreies Frequenzband

Um einen weltweiten Einsatz zu ermöglichen, muß das genutzte Frequenzband überall verfügbar sein. Darüber hinaus sollte es lizenzfrei und offen für sämtliche Funksysteme sein. Der einzige Frequenzbereich, der diese Anforderungen erfüllt, ist das im Bereich von 2,45 GHz betriebene Industrial-Scientific-Medical-Band (ISM), dessen Bandbreite in den USA und Europa zwischen 2.400,0 und 2.483,5 MHz (in Frankreich und Spanien sind nur Teile dieses Bereichs verfügbar) beziehungsweise in Japan zwischen 2.471 und

2.497 MHz liegt. Decken die verwendeten Transceiver den gesamten Frequenzbereich von 2.400 bis 2.500 MHz ab und ist sichergestellt, daß die Transceiver innerhalb dieses Bereichs das passende Segment automatisch auswählen, kann man das System weltweit einsetzen.

Frequency Hopping

Da das ISM-Band für jedermann offen ist, müssen die in diesem Frequenzbereich arbeitenden Funkssysteme mit unvorhersehbaren Störquellen wie Baby-Phones, Garagentoröffnern, Schnurlostelefonen und Mikrowellenherden die stärkste Störquellen rechnen. Die auftretenden Störungen lassen sich unter Verwendung eines adaptiven Schemas vermeiden,



Frequenzsprung/Time-Division-Kanal

das einen unbenutzten Teil des verfügbaren Spektrums sucht. Man kann auch Spreizbandverfahren zur Unterdrückung solcher Störungen heranziehen. In den USA ist der Einsatz solcher Verfahren bei Funkgeräten im 2,45-GHz-Bereich unbedingt erforderlich, sofern deren Sendeleistungspegel 0 dBm überschreiten.

Bluetooth-Funkgeräte arbeiten mit dem Frequenzsprung-Spreizbandverfahren, da diese Technik eine bessere Unterstützung kostengünstiger Funkanwendungen bei geringer Sendeleistung gewährleisten. Das Frequenzband wird in verschiedene Teilbänder oder Hop-Kanäle aufgeteilt. Während einer Verbindung springen die Transceiver nach einem pseudozufälligen

Muster von einem Kanal zum anderen. Trotz der geringen Momentanbandbreite der einzelnen Sprünge wird gewöhnlich eine Spreizung über das gesamte Frequenzband erreicht. Dies ermöglicht den Einsatz kostengünstiger Schmalband-Transceiver mit äußerst geringer Störanfälligkeit. Tritt gelegentlich ein fehlerhafter Empfang aufgrund von Störungen in einem Kanal auf, so korrigieren Verfahren zur Fehlererkennung diese innerhalb der Verbindung.

Kanaldefinition

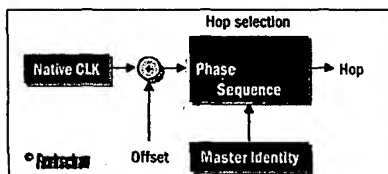
Bluetooth-Kanäle arbeiten nach einem Zeitduplexschema mit Frequenzsprung (Frequency Hopping/Time Division Duplex, FH/TDD). Der Kanal ist in Zeitschlitze mit einer Länge von jeweils 625 µs aufgeteilt, wobei jedem einzelnen Slot eine eigene Sprungfrequenz zugeordnet wird. Hieraus resultiert eine nominale Sprungrate von 1.600 Hops pro Sekunde. In jedem Zeitschlitz kann ein Paket übertragen werden. Aufeinander folgende Zeitschlitze werden abwechselnd zum Senden und Empfangen benutzt. So ergibt sich ein TDD-Schema.

Zwei oder mehr Einheiten innerhalb desselben Kanals bilden ein Piconetz, wobei eine Einheit als Master den Verkehr in diesem Piconetz steuert und die anderen Einheiten als Slaves arbeiten. Das Teilband wird durch die Sprungsequenz, das heißt die Reihenfolge, in der die einzelnen Hops belegt werden, sowie die Phase innerhalb dieser Sequenz bestimmt. Bei Bluetooth legt die Identität des Piconetz-Masters die Sequenz fest, während der Systemtakt der Master-Einheit die Phase vorgibt. Zur Erzeugung des Mastertakts in der Slave-Einheit kann der Slave seinem eigenen internen Takt einen Offset hinzufügen. Das Wiederholintervall der Frequenzsprungsequenz, das sehr lang ist (mehr als 23 Stunden), wird durch den Taktgeber bestimmt.

alle Bilder: Eisberger, Quelle: Ericsson

Verwenden alle Teilnehmer auf einem bestimmten Kanal die gleiche Identität und den gleichen Takt als Eingabe für die Sprung-Auswahlsteuereinheit, so wählt jede Einheit denselben Träger aus; alle Einheiten bleiben so synchronisiert. Jedes Pikonetz verfügt über einen eindeutigen Satz von Master-Parametern zur Erstellung eines eindeutigen Kanals.

Der Kanal greift auf mehrere, in gleichen Abständen angeordnete 1-MHz-Sprünge zurück. Unter Verwendung einer Gaußschen Frequenzumtastung läßt sich eine Schrittgeschwindigkeit von 1 Mbit/s erreichen. In Ländern, in denen das offene Band 80 MHz oder breiter ist, wurden 79 Hop-Träger definiert. In Ländern mit schmalere Frequenzband (Japan, Frankreich und Spanien) konnten dagegen nur 23 Träger definiert werden (siehe Tabelle). Im Durchschnitt wird durch die Frequenzsprungsequenz jeder Träger mit gleicher Wahrscheinlichkeit belegt.



Sprung-Auswahlschema: In der Steuereinheit wird die Sequenz anhand der Master-ID und die Phase durch den Taktgeber (Native CLK) ausgewählt. Zusammen genommen ergibt dies den zu verwendenden Träger

Paketdefinition

Der Master und einer der Slaves können in jedem einzelnen Zeitschlitz ein Paket austauschen. Sie verfügen über ein festes Format. Jedes Paket beginnt mit einem 72-bit-Zugangscode, der von der Master-Identität abgeleitet und eindeutig einem bestimmten Kanal zugeordnet wird. Jedem über den Kanal ausgetauschten Paket wird dieser Zugangscode vorangestellt. Die im Pikonetz befindlichen Empfänger vergleichen die ankommenden Signale mit diesem Code. Bei fehlender Übereinstimmung wird das empfangene Paket im Kanal als ungültig betrachtet und der Rest seines Inhalts ignoriert. Der Zugangscode dient nicht nur zur Identifizierung der Pakete, sondern auch zur Synchronisierung und Offset-Kompensation. Dieser Code ist sehr robust und störunempfindlich.

Dem Zugangscode folgt der Header, der wichtige Steuerinformationen, beispielsweise eine 3-bit-MAC-Adresse, den Pakettyp, Flußsteuerungsbits und ARQ-bit für die automatische Anforderung einer Übertragungswiederholung sowie ein Header-Fehlerprüffeld enthält. Dieser Header mit einer festen Länge von 54 bit wird durch einen 1/3-Raten-Vorwärtsfehlerkorrekturcode (FEC-Code) geschützt. Auf den Header folgen die maximal 2.745 bit an Nutzdaten.

Zur Unterstützung hoher Datenraten wurden die Pakete definiert, die mehrere Zeitschlitze belegen können. Ein Paket kann demnach einen, drei oder fünf Zeitschlitze abdecken. Pakete werden immer auf einem einzelnen Träger versendet. Beim Auftreten von Multi-

TECHNIK	
Funkparameter	
Modulation	GFSK, h ≤ 0,35
max. Datenrate	1 Mbit/s
HF-Bandbreite	220 kHz (-3 dB), 1 MHz (-20 dB)
HF-Band	2,4 GHz ISM-Band
Zahl der HF-Träger	23 bzw. 79
Trägerabstand	1 MHz
max. Sendeleistung	≤ 20 dBm

slot-Paketen wird der Hop-Träger entsprechend seiner Anwendung im ersten Zeitschlitz benutzt. Nach dem Versand des Multislot-Pakets arbeitet der Kanal gemäß der Vorgabe vom Master-Taktgeber weiter. Zur Veranschaulichung soll das folgende Beispiel mit den vier Zeitschlitzen k, k+1, k+2 und k+3 dienen. Im Normalfall würden diesen Zeitschlitzen die Hopping-Frequenzen f_k , f_{k+1} , f_{k+2} und f_{k+3} zugeordnet. Ein 3-Slot-Paket, das im Zeitschlitz k beginnt, benutzt jedoch f_k für das gesamte Paket. Das nächste Paket beginnt im Zeitschlitz k+3 und benutzt die Frequenz f_{k+3} .

Definition der physischen Verbindung

Die folgenden beiden Arten von Verbindungen (Links) wurden zur Unterstützung von Multimedia-Anwendungen mit kombinierter Sprach- und Datenübertragung definiert:

ANWENDUNGEN

Benutzerszenarien

Ein Gerät für jeden Einsatzort

Bei Verwendung im Büro arbeitet das Gerät über die Bluetooth-Schnittstelle als Internet- und damit gebührenfreier Anschluss. Zuhause kommt es als Schnurlostelefon zum Festnetztarif zum Einsatz. Unterwegs ist es ein normales Mobiltelefon, bei dem die Mobilfunkgebühren berechnet werden.

Über einen tragbaren PC kann der Benutzer an jedem beliebigen Ort im Internet surfen, und zwar unabhängig davon, ob die Verbindung über ein Mobiltelefon oder einen Festnetzanschluss (PSTN, ISDN, LAN, xDSL) erfolgt.

Interaktive Konferenz – Für sofortigen Datenaustausch mit jedem Teilnehmer.

In Besprechungen und auf Konferenzen können Informationen unverzüglich mit anderen Teilnehmern ausgetauscht werden. Darüber hinaus läßt sich beispielsweise ein Projektor drahtlos steuern.

Fortschrittliche schnurlose Freisprechtechnik

Durch den Anschluß einer Freisprecheinrichtung an einen mobilen PC oder eine beliebige festverdrahtete Verbindung hat der Benutzer die Hände frei für wichtigere Aufgaben – im Büro und unterwegs.

Tragbares PC-Telefon

Beim Anschluß einer schnurlosen Freisprecheinrichtung an einen tragbaren PC kann dieser als Telefon eingesetzt werden. Der Akzentaschentrück

Der Benutzer kann auf seine E-Mails zugreifen, während der tragbare PC noch in der Akzentasche verstaut ist. Sobald am PC eine Mail eingeht, wird der Benutzer über sein Mobiltelefon informiert. Darüber hinaus kann der Benutzer mit dem Mobiltelefon durch ankommende Mails browsen und Nachrichten lesen.

Automatische Synchronisation

Bluetooth ermöglicht den automatischen Abgleich der Daten vom Desktop-PC, Laptop, Notebook, Organizer und Mobilte-

lefon des Benutzers. Sobald der Benutzer sein Büro betritt, werden die im Notebook gespeicherten Adresslisten und Kalender automatisch mit den auf dem Desktop-PC abgelegten Daten aktualisiert. Der umgekehrte Weg ist ebenfalls möglich.

Fotos und Videoclips versenden

Der Benutzer kann eine Kamera drahtlos an sein Mobiltelefon oder an jede beliebige festverdrahtete Verbindung anschließen. Kommentare über sein Telefon, ein Notebook oder einen tragbaren PC hinzufügen und die Daten im Anschluß daran sofort weltweit an jeden beliebigen Empfänger versenden. Diese Funktion eignet sich sowohl für den professionellen als auch für den privaten Einsatz.

Anschluß aller Peripheriegeräte an PC oder LAN, Desktop- und Laptop-PC lassen sich schnurlos an Drucker, Scanner und das LAN anschließen. Eine noch größere Bewegungsfreiheit wird durch drahtlose Maus- und Tastaturverbindungen ermöglicht.

synchrone verbindungsorientierte Verbindungen (SCO: synchronous connection-oriented)

asynchrone verbindungsunabhängige Verbindungen (ACL: asynchronous connectionless)

SCO-Links unterstützen im wesentlichen zur Sprachübermittlung eingesetzte symmetrische, leitungsvermittelte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. Die Definition dieser Links auf dem Kanal erfolgt, indem zwei aufeinander folgende Zeitschlitz (in Vor- und Rückwärtsrichtung) in fest vorgegebenen Intervallen reserviert werden.

ACL-Links unterstützen symmetrische oder asymmetrische paketvermittelte Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen, die in erster Linie für die Übermittlung von schubweise auftretendem Datenverkehr verwendet werden. Die Master-Einheiten greifen zur Steuerung von ACL-Verbindungen auf ein Abfrageschema zurück.

Für jede physische Verbindung wurde ein bestimmter Satz von Paketen definiert:

- Drei Arten von Sprachpaketen für jeweils einen Zeitschlitz wurden für SCO-Links definiert; jedes dieser Pakete überträgt Sprache mit 64 kbit/s. Die Sprachübermittlung erfolgt ungesichert, doch kann bei Verringerung des SCO-Intervalls eine 1/3- oder 2/3-Vorwärtsfehlerkorrektur herangezogen werden.
- Für ACL-Links wurden Datenpakete mit einem, drei oder fünf Zeitschlitz definiert. Die Daten können entweder ungesichert übertragen oder unter Verwendung einer 2/3-Vorwärtsfehlerkorrektur gesichert werden. Die maximale Datenrate von 721 kbit/s in einer Richtung und 57,6 kbit/s in der Gegenrichtung wird mit einem ungesicherten 5-Slot-Paket erreicht.

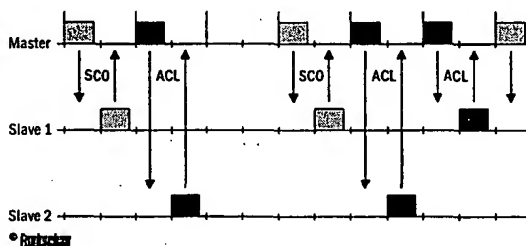
Die Abbildung in der Mitte veranschaulicht eine Kombination von SCO- und ACL-Links in einem Piconetz mit einem Master und zwei Slave-Einheiten. Slave 1 unterstützt einen ACL-Link sowie einen SCO-Link mit einem

6-Slot-SCO-Intervall. Slave 2 unterstützt lediglich einen ACL-Link. Hierbei ist zu beachten, daß die Zeitschlitz leer sein können, wenn keine Daten verfügbar sind.

Störungsempfindlichkeit

Wie eingangs erwähnt, arbeitet eine Bluetooth-Funkleinrichtung in einem offenen Band. Das System ist daher beträchtlichen, unkontrollierbaren Störgeräuschen ausgesetzt. Zur Kompensation ist eine Optimierung der Funkchnittstelle erforderlich:

- Im System werden Frequenzsprungverfahren mit hoher Sprungrate und kurzen Paketlängen eingesetzt (1.600 Hops/s bei Paketen mit einem Zeitschlitz). Beim Verlust eines Pakets geht nur ein geringer Teil der Nachricht verloren.
- Vorwärtsfehlerkorrektur sichert die Pakete.



SCO- und ACL-Links in einem Piconetz mit einem Master und zwei Slaves

- Ein ARQ-Schema sichert die Datenpakete, indem verlorengegangene Pakete automatisch erneut gesendet werden. Der Empfänger prüft jedes ankommende Paket auf Fehler. Wird ein Fehler festgestellt, so wird dies im Header des zurückgesendeten Pakets angezeigt. Dies führt zu einem sehr schnellen ARQ-Schema. Die Verzögerung beträgt lediglich die Dauer eines Zeitschlitzes; darüber hinaus müssen nur verlorengegangene Pakete erneut gesendet werden.
- Sprache wird in keinem Fall erneut übermittelt. Statt dessen wird ein robustes Sprachcodierungsschema eingesetzt. Dieses auf der CVSD-Modulation (Continuous Variable Slope Delta) basierende Schema folgt dem analogen Signal und ist sehr unempfindlich gegenüber Bitfehlern; Fehler werden als Hintergrundrauschen wahrgenommen, das sich mit zunehmender Bitfehlerhäufigkeit verstärkt.

Networking

Piconetze

Bluetooth-Geräte, die sich innerhalb der jeweiligen Reichweite befinden, können miteinander sogenannte ad-hoc-Verbindungen aufbauen, wobei prinzipiell jede Einheit als gleichberechtigter Partner (Peer) mit identischen Hardware-Leistungsmerkmalen betrachtet wird. Im Gegensatz zu zellularen Systemen wird hierbei kein Unterschied zwischen Endgeräten und Basisstationen gemacht. Zwei oder mehr Bluetooth-Einheiten, die auf denselben Kanal zugreifen, bilden ein Piconetz. Ein Gerät innerhalb des Piconetzes, der Master, regelt den auf dem Kanal stattfindenden Verkehr. Generell kann jede beliebige Einheit Master werden, per definitionem wird diese Rolle jedoch von der Einheit übernommen, die das Piconetz einrichtet. Alle

übrigen Teilnehmer werden in diesem Fall zu Slaves. Die Teilnehmer können allerdings die Rollen tauschen. Auf keinen Fall können jedoch mehrere Master gleichzeitig in einem Piconetz vorhanden sein.

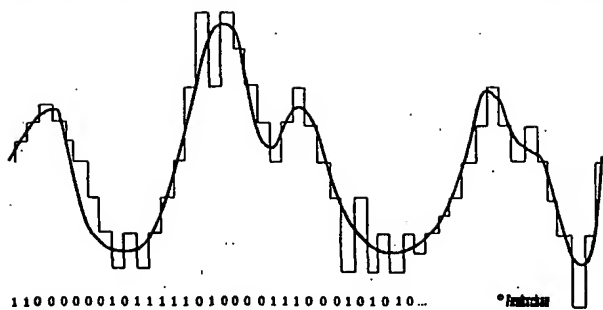
Sämtliche Einheiten innerhalb des Pi-

conetzes verwenden die Identität und den Takt des Masters zur Bestimmung des jeweiligen Hop-Kanals. Jede Einheit verfügt darüber hinaus über einen eigenen, unabhängigen internen Taktgeber. Beim Aufbau einer Verbindung wird zur Synchronisierung des Slave-Takts mit dem Taktsignal des Masters ein Offset eingefügt. Der interne Taktgeber wird jedoch niemals nachjustiert. Die Offsets gelten lediglich für die Dauer der jeweiligen Verbindung.

Master-Einheiten steuern den gesamten Verkehr auf einem Kanal. Sie weisen durch die Reservierung von Zeitschlitz die Kapazität für die SCO-Links zu. Im Falle von ACL-Links wird ein Abfrageschema verwendet. Ein Slave darf nur dann im Slave-zum-Master-Slot senden, wenn er im vorangegangenen Master-zum-Slave-Slot durch seine MAC-Adresse angesprochen wurde. Beim Empfang jedes vom Master zum Slave gesendeten Pakets wird der Slave implizit abgefragt, das heißt auch das Versenden eines normalen Verkehrspakets bewirkt eine automatische Abfrage der Slave-Einheit. Falls keine für den Slave bestimmte Information verfügbar ist, kann der Master ein spezielles POLL-Paket an den Slave übermitteln, um eine explizite Abfrage durchzuführen. Solche POLL-Pakete bestehen lediglich aus einem Zugangscode und

DATENRATEN			
Mögliche Datenraten auf einem ACL-Link			
Typ	Symmetrisch	Asymmetrisch	
DM1	108,8 kbit/s	108,8 kbit/s	108,8 kbit/s
DH1	172,8 kbit/s	172,8 kbit/s	172,8 kbit/s
DM3	256,0 kbit/s	384,0 kbit/s	54,4 kbit/s
DH3	384,0 kbit/s	576,0 kbit/s	86,4 kbit/s
DM5	286,7 kbit/s	477,8 kbit/s	36,3 kbit/s
DH5	432,6 kbit/s	721,0 kbit/s	57,6 kbit/s

DMx stellt FEC-codierte Datenpakete mit x Zeitschlitz dar. DHx steht für ungesicherte Datenpakete.



CVSD-Wellenformcodierung

einem Header. Durch dieses zentrale Abfrageschema werden Kollisionen bei der Slave-Übertragung sicher ausgeschlossen.

Verbindungsaufbau

Einheiten, die nicht zu den Teilnehmern eines Piconetzes gehören, gehen in einen Stand-by-Modus, von dem aus sie periodisch überprüfen, ob Suchanfragen für sie vorliegen. Von den insgesamt 79 (23) verfügbaren Hop-Trägern wurde eine Gruppe von 32 (16) als Weckträger definiert. Die pseudozufällig gewählte Gruppe wird durch die Identität der Einheit bestimmt. Unter Verwendung dieser Weckträger greift eine Wecksequenz jeweils einmal auf jedes Teilband zu. Die Länge dieser Sequenz beträgt 32 (16) Hops. Nach Ablauf von jeweils 2.048 Zeitschlitz (1,28 Sekunden) leiten die im Stand-by-Modus befindlichen Einheiten ihren Weckträger einen Hop in der Wecksequenz weiter. Der interne Taktgeber der Einheit legt die Phase der Wecksequenz fest. Während des Abhörintervalls, das sich über 18 Zeitschlitz beziehungsweise 11,25 ms erstreckt, hört die Einheit einen einzigen Weckträger ab und korreliert die ankommenden Signale mit dem von ihrer eigenen Identität abgeleiteten Zugangscode. Spricht der Korrelator an, das geschieht, wenn die Mehrzahl der empfangenen bits mit dem Zugangscode übereinstimmt, wird die Einheit automatisch aktiviert und leitet eine Prozedur zum Verbindungsaufbau ein. Andernfalls verbleibt die Einheit bis zum Eintreten des nächsten Weckereignisses im Stand-by-Modus.

Geräte, die auf eine im Stand-by-Modus befindliche Einheit zugreifen wollen, müssen die Identität dieser Einheit sowie möglichst auch deren internen Takt kennen, um

- den erforderlichen Zugangscode zu generieren, der die Rufnachricht bildet, die Wecksequenz abzuleiten und die Phase dieser Sequenz vorhersagen zu können.

Da die Einheiten, die eine Rufnachricht aussenden, den internen Takt eines Empfängers nicht exakt im Voraus bestimmen können, muß die damit verbundene Zeit-Frequenz-Unsicherheit aufgelöst werden. Dies geschieht durch die kontinuierliche Aussendung des Zugangs-codes, und zwar nicht nur in dem Hop, in dem der

Empfänger erwartet wird, sondern auch in den vorherigen und folgenden Hops. Über einen Zeitraum von zehn Millisekunden senden die rufenden Einheiten den Zugangscode sequentiell auf unterschiedli-

chen Hop-Frequenzen im Bereich des erwarteten Hop-Trägers. Hierbei ist zu beachten, daß die Länge des Zugangs-codes lediglich 72 bits (72 ms) beträgt, so daß innerhalb des 10-ms-Zeitraums eine Vielzahl von Codes versendet werden können. Diese 10 ms andauernde Folge von Zugangs-codes auf verschiedenen Hop-Trägern wird ständig wiederholt, bis entweder eine Rückmeldung des Empfängers oder eine Zeitüberschreitung erfolgt.

Wenn eine rufende Einheit und der entsprechende Empfänger denselben Weckträger auswählen, erhält der Empfänger den Zugangscode und sendet daraufhin ein Quittungssignal zurück. Die rufende Einheit überträgt nun ein Paket mit Angabe ihrer Identität und ihres aktuellen Takts. Nach der Quittierung dieses Pakets durch den Empfänger benutzen beide Einheiten die Parameter der rufenden Einheit zur Auswahl des Hops; hierdurch wird ein Piconetz eingerichtet, in dem die rufende Einheit die Rolle des Masters übernimmt.

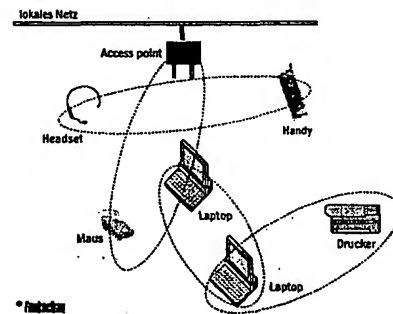
Für den Aufbau einer Verbindung muß die rufende Einheit die Identität der innerhalb ihres Übertragungsbereichs befindlichen Einheiten kennen. Aus diesem Grund wird die folgende Anfrageprozedur ausgeführt: Die rufende Einheit versendet einen für alle Bluetooth-Geräte identischen Anfragezugangscode über speziell für solche Anfrage vorgesehene Weckträger. Sobald ein Empfänger diese Anfrage erhält, sendet er ein Paket mit seiner Identität und seinem Takt zurück; diese Prozedur ist also das genaue Gegenteil der oben beschriebenen Rufprozedur. Nach der Erfassung sämtlicher Antwortpakete kann die rufende Einheit nun eine bestimmte Einheit auswählen.

Scatternetze

Die Benutzer eines Kanals müssen die verfügbare Kapazität miteinander teilen. Obwohl die Breite der Kanäle jeweils 1 MHz beträgt, kann der Durchsatz pro Benutzer bei einer Vielzahl von Teilnehmern schnell auf relativ geringe Datenraten absinken. Darüber hinaus kann trotz einer mittleren verfügbaren Bandbreite von 80 MHz in USA und Europa (geringfügig weniger in Japan, Frankreich und Spanien) diese Bandbreite nicht effizient ausgenutzt werden, wenn sich sämtliche Einheiten denselben 1-MHz-Hop-Kanal teilen müssen. Aus diesem

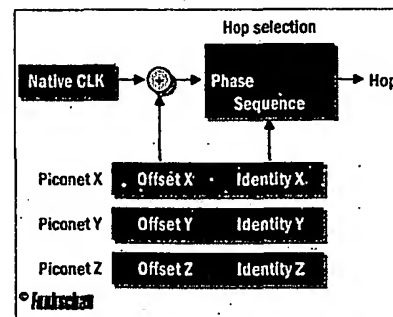
Grund wurde eine andere Lösung implementiert.

Einheiten, die sich im selben Bereich und innerhalb ihrer jeweiligen Übertragungsbereichen befinden, können ad-hoc-Verbindungen zueinander aufbauen. Allerdings teilen sich nur diejenigen Einheiten denselben Kanal (Piconetz), die wirklich Informationen miteinander austauschen wollen. Diese Lösung ermöglicht die Einrichtung mehrerer Piconetze in überlappenden Versorgungsbereichen. Jedes Piconetz arbeitet dabei mit seiner eigenen Sprungsequenz über das 80-MHz-Medium. Der Kanal in jedem Piconetz springt in einer pseudozufälligen Folge über die verschiedenen Träger des 80-MHz-Bands. Den Nutzern in jedem Piconetz steht nur ein 1-MHz-Hop-Kanal zur Verfügung.



Einsatz eines aus vier Piconetzen bestehenden Scatternetzes

Eine Gruppe von Piconetzen wird als Scatternetz bezeichnet. Der gesamte wie auch der individuelle Durchsatz der Benutzer liegt in einem Scatternetz weit über der Datenrate, die jeder Benutzer erreichen kann, wenn er in jedem Piconetz mit einem 1-Mbit/s-Kanal teilnimmt. Eine zusätzliche Kapazitätssteigerung wird durch das statistische Multiplexen der Hop-Kanäle sowie die Wiederverwendung von Kanälen ermöglicht. Der in einem bestimmten Piconetz verfügbare 1-MHz-Kanal muß nur zwischen den Benutzern dieses Piconetzes aufgeteilt werden. Aufgrund der unterschiedli-



Hop-Auswahl bei der Kommunikation zwischen mehreren Piconetzen

chen Hops der einzelnen Piconetze können unterschiedliche Piconetze gleichzeitig unterschiedliche Hop-Kanäle belegen. Die in einem Piconetz befindlichen Einheiten müssen daher ihren 1-MHz-Kanal nicht mit Einheiten in einem anderen Piconetz teilen. Der Gesamtdurchsatz, das ist der insgesamt über alle Piconetze erzielte Durchsatz, steigt, je mehr Piconetze hinzugefügt werden. Kollisionen können auftreten, wenn zwei Piconetze gleichzeitig denselben Hop-Kanal belegen. Bei einer zunehmenden Anzahl von Piconetzen kommt es daher zu einer geringen Leistungseinbuße im Frequenzsprungsystem. Die Simulation eines aus zehn Netzen bestehenden Scatternetzes ergab, daß der Durchsatz pro Piconetz um weniger als zehn Prozent abfällt. Im Scatternetz wird das Funkmedium gemeinsam genutzt; in einem Piconetz teilen sich die Benutzer den Kanal und die Informationen.

Da jedes Piconetz die gleiche Bandbreite benutzt, wird eine durchschnittliche Verteilung der verfügbaren 80 MHz erreicht. Unter der Voraussetzung, daß unterschiedliche Hop-Kanäle verwendet werden, müssen sich jedoch zwei Piconetze nie gleichzeitig denselben 1-MHz-Kanal teilen.

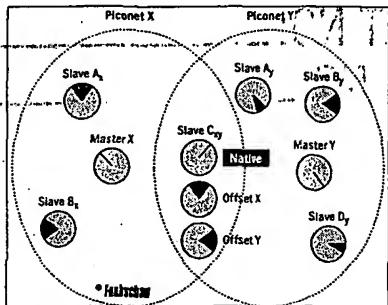
Das folgende Szenario dient zur Veranschaulichung des oben beschriebenen Systems: Das Beispiel geht von einer Teilnehmerzahl von 100 aus. Würden alle Nutzer demselben Netz angehören, müßten sich alle einen gemeinsamen 1-MHz-Kanal teilen. Die mittlere Bandbreite pro Benutzer betrüge in diesem Fall 10 kbit/s und der Gesamtdurchsatz 1 Mbit/s. Falls jedoch nicht alle Benutzer miteinander sprechen möchten, läßt sich das Piconetz in mehrere unabhängige Piconetze untergliedern. Teilen sich beispielsweise die Nutzer in Gruppen von jeweils fünf auf, so können 20 unabhängige Piconetze eingerichtet werden. Wenn sich lediglich fünf Benutzer den 1-MHz-Hop-Kanal teilen müssen, steigt der Durchsatz pro Benutzer auf 200 kbit/s und der Gesamtdurchsatz auf 20 Mbit/s. Dieses Beispiel geht selbstverständlich von Idealbedingungen aus, in denen zwei Piconetze niemals gleichzeitig denselben Hop-Kanal belegen. In der Realität kommt es jedoch aufgrund der unterschiedlichen Hops der einzelnen Piconetze immer wieder zu Kollisionen, die zu einer Verringerung des effektiven Durchsatzes führen. Trotzdem liegt der bei Verwendung mehrerer Piconetze erzielbare Durchsatz weit über dem eines einzelnen Piconetzes.

Maximal können in einem einzelnen Piconetz acht aktive Teilnehmer (ein Master und sieben Slaves) vorhanden sein. Die zur Unterscheidung der einzelnen Einheiten verwendete MAC-Adresse im Header des Pakets ist auf drei bits begrenzt.

Kommunikation zwischen Piconetzen

Unterschiedliche Piconetze verwenden unterschiedliche Frequenzsprungsequenzen und werden durch unterschiedliche Master gesteuert. Falls ein Hop-Kanal vorübergehend von mehreren unabhängigen Piconetzen gemeinsam genutzt wird, können die Pakete durch den ihnen vorangestellten Zugangscode unterschieden werden – die Zugangscode werden eindeutig einem bestimmten Piconetz zugeordnet. Piconetze arbeiten unkoordiniert und springen unabhängig voneinander, da eine Synchronisierung verschiedener Piconetze im unlizenziierten ISM-Band nicht zulässig ist. Trotzdem können die Einheiten unter Verwendung von Zeitmultiplexverfahren in unterschiedlichen Piconetzen betrieben werden. Eine Einheit kann also sequentiell an verschiedenen Unternetzen teilnehmen, sofern sie zu einem bestimmten Zeitpunkt nur in einem Piconetz aktiv ist.

Die Kommunikation zwischen den Piconetzen erfolgt durch die Auswahl der korrekten Master-Identität und des Taktoffsets, wodurch eine Synchronisierung mit dem Kanal des gewünschten Piconetzes erreicht wird. Für jedes Piconetz ist ein entsprechender Satz von Identitäten und Taktoffsets verfügbar. Bei der Anmeldung eines Teilnehmers in ein Piconetz stellt er seinen Taktoffset ein, um Abweichun-



Gleichzeitiger Einsatz der Slave-Einheit C_{xy} in zwei Piconetzen

gen zwischen dem Master-Takt und der internen Taktquelle auszugleichen. Die Einheit kann somit in verschiedenen Piconetzen als Slave arbeiten. Beim Wechsel in ein anderes Netz teilt die Einheit dem Master mit, daß sie für einen gewissen Zeitraum nicht verfügbar ist. Während der Abwesenheit dieser Einheit wird der im Piconetz stattfindende Verkehr zwischen dem Master und anderen Slaves normal fortgesetzt.

Eine Master-Einheit kann ebenfalls periodisch in ein anderes Piconetz springen und in diesem als Slave eingesetzt werden. Falls diese Einheit auch im neuen Piconetz als Master dienen sollte, müßte dieses Piconetz die gleichen

Parameter wie das „alte“ Piconetz aufweisen – der Definition nach wären die beiden Netze in diesem Fall nicht voneinander unterscheidbar. Sobald ein Master ein Piconetz verläßt, wird der gesamte Verkehr in diesem Piconetz bis zur Rückkehr des Masters lahmgelegt.

Das Bild links zeigt einen Slave, der an zwei Piconetzen beteiligt ist. Das Piconetz X besteht aus dem Master X und den Slaves A_x und B_x . Netz Y besteht aus dem Master Y und den Slaves A_y , B_y und D_y . Der Slave C_{xy} gehört beiden Piconetzen an. Das Bild stellt auch den Takt der einzelnen Einheiten dar. Zur Synchronisation mit dem Master-Takt wird ein positiver oder negativer Offset eingefügt. Der Slave C_{xy} arbeitet mit einem internen Taktgeber und zwei Offsets für die Master-Einheiten X beziehungsweise Y.

Authentifizierung und Verschlüsselung

Zum Schutz des Nutzers und zur Gewährleistung der Vertraulichkeit der übermittelten Informationen muß das System für den Einsatz in einer Peer-Umgebung geeignete Sicherheitsmaßnahmen zur Verfügung stellen, das heißt, jede Einheit innerhalb des Bluetooth-Systems muß dieselben Algorithmen zur Identifikationsprüfung und Verschlüsselung verwenden.

Zu diesem Zweck wurden ein Basisverschlüsselungsverfahren sowie ein Algorithmus zur Überprüfung der Benutzeridentität spezifiziert, die als Hardware realisiert werden können; dieser Algorithmus gewährleistet ein hinreichendes Maß an Sicherheit für Geräte, deren Prozessorkapazität allein nicht ausreicht. Für zukünftige Geräte ist eine abwärtskompatible Unterstützung von Chiffrier-Algorithmen vorgesehen.

Die wichtigsten Sicherheitsfunktionen sind:

- eine Authentisierungsabfrage- und -antwortfunktion,
- eine Datenstrom-Chiffrierung zur Verschlüsselung,
- die Generierung von Schlüsseln (Session Keys), die jederzeit im Laufe einer Verbindung geändert werden können.

In den Sicherheitsalgorithmen werden drei Arten von Definitionseinheiten (Entitäten) eingesetzt. Dies ist zum einen die Adresse der Bluetooth-Einheit, die eine öffentliche Entität darstellt. Die zweite Entität ist ein privater Benutzerschlüssel, die nichtöffentlich ist. Die dritte schließlich ist eine zufällig generierte Nummer, die für jede neue Transaktion unterschiedlich ist. Wie beschrieben ermittelt Bluetooth die Adresse mittels einer Abfrageprozedur. Der private Schlüssel wird während der Initialisierung abgeleitet, aber niemals der Öffentlichkeit preisgegeben. Die als dritte Entität verwendete Nummer wird durch einen pseudozufälligen Prozeß in der Bluetooth-Einheit generiert. (GG)

DOCKET NO: LdL-I0045

SERIAL NO: _____

APPLICANT: Ulrich Bökel et al

LERNER AND GREENBERG P.A.

P.O. BOX 2480

HOLLYWOOD, FLORIDA 33022

TEL. (954) 925-1100